

隽水河流域土地利用变化对洪水过程的影响

翟丽妮 林沛榕 吴凤燕 马丽梅¹

(1. 湖北省水利水电科学研究院, 湖北 武汉 430070;

2. 湖北省水利水电科技推广中心, 湖北 武汉 430070)

【摘要】: 隽水河流域地处鄂东南地区, 是全省的暴雨中心之一, 是洪涝灾害频发和多发的地区。为探讨土地利用变化对洪水过程的影响, 基于 SWAT 模型, 采用极端土地利用情景分析法, 分别计算了林地、居住用地、草地、耕地 4 种土地利用类型对场次洪水过程的影响。结果表明: (1) SWAT 模型在隽水河流域洪水过程模拟中适用性好, 通城(二)水文站验证的结果为洪峰合格率达 83.33%, 确定性系数 E_{NS} 大于 0.80, 决定性系数 R^2 大于 0.9。(2) 不同土地利用类型中, 居住用地和耕地对洪峰和洪量均有增加作用, 其中, 居住用地增加更为显著; 林地和草地对洪峰和洪量均有削减作用, 其中, 草地削减更为显著。(3) 土地利用类型的改变对中小洪水过程影响的幅度更为显著, 而对较大洪水过程影响的幅度却相对较弱。

【关键词】: 土地利用 SWAT 模型 隽水河流域 洪峰流量 洪水总量

【中图分类号】: F33 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)08-1812-11

隽水河流域位于鄂东南长江一级支流陆水河上游, 是全省的暴雨中心之一, 是洪涝灾害频发和多发的地区。自建国以来, 几乎每 3 年都会发生一次较严重的洪涝灾害, 局部暴雨山洪灾害基本年年发生, 特别是上世纪 90 年代末以来, 极端洪涝灾害发生的量值和频次都有增大和增多的趋势。在作者相关的研究中表明^[1], 隽水河流域年和汛期的径流深增加趋势不显著, 但最大 1 日径流深却呈现显著的增加趋势, 且日径流深 NyN 极值在 1992 年之后发生次数显著增多, 数值也较之前增大, 说明该流域年水资源总量基本保持恒定, 但是分布却变得更加极端, 大的更大, 小的更小, 尤其是上世纪 90 年代之后极端洪涝灾害发生的频次增加、程度加重。而影响场次洪水极值大小的因素一是时段降雨量等气象因素, 另一个就是流域下垫面土地利用类型的改变, 这也正是人类活动影响最为直接的体现。

土地利用及其结构的变化可以改变地表蒸发、植被截留、土壤水分入渗等水文过程, 进而对流域生态和水文循环产生影响。分析不同土地利用变化对流域水循环的影响, 有助于解释区域生态环境变化的过程和机理, 并为区域生态保护和可持续发展提供决策依据。Zhi 等^[2]认为植被覆盖增加可使径流和土壤含水量减少, 蒸发量增加。Ali 等^[3]探索了 Lai Nullah 流域丰水期径流对土地利用变化的响应, 并通过土地利用模型分析了未来情景下土地利用对径流的影响。熊飞勇^[4]认为林地减少会使流域年径流减少, 月径流在丰水期增加, 枯水期减少, 容易造成频繁的旱涝灾害。陈莹等^[5]认为土地利用变化的水文响应程度在枯水年最强, 丰水年最弱, 月径流在春季变化更明显, 并且林地转换为建设用地的水文效应最敏感。郝振纯等^[6]分析了海河流域不同土地利用的时空转移特征, 汛期径流量和径流系数、最大月径流量随着林地增加草地减少而减少。莫桂燕^[7]通过龙滩流域径流对土地利用变化的敏感性分析表明, 增加流域林地、草地面积, 可削弱汛期洪峰, 同时植被的保水作用可防止径流陡涨陡落。

作者简介: 翟丽妮(1982~), 女, 高级工程师, 主要研究方向为水文学及水资源. E-mail: 49142469@qq.com

基金项目: 湖北省水利重点科研项目(HBSLKY201904, HBSLKY201809)

以往的研究更多的偏重于长时间尺度下(以月或年为研究时段)土地利用类型的改变对区域径流量的影响,而对于更短时间尺度下(以天或小时为研究时段)不同的土地利用类型对场次洪峰和洪量的影响并不多见。本研究基于 SWAT 模型,采用极端土地利用情景分析法,分别计算不同土地利用类型对隽水河流域场次洪峰流量和洪水总量的影响,从而量化某种土地利用类型的改变对场次洪水过程关键要素的影响幅度,为区域水旱灾害防御、土地资源管理、国土空间规划以及经济社会发展布局提供一定的借鉴和参考。

1 数据与方法

1.1 研究区域概况

隽水河流域位于鄂东南长江一级支流陆水河上游,幕阜山北麓,处于 113° 36' E~114° 04' E,北纬 29° 02' N~29° 24' N 之间,流域总面积 227km²。隽水河发源于通城县正南部高峰界头徐家,全长 43km,流经潭马港、五里、隽水等乡镇。地形上,隽水河流域丘陵居多,山地、平坝兼有。整个地势呈南高北低的土箕形,海拔最高 814m、最低 76m,相对高差 738m,高程由东南向西北递减。隽水河流域水系及地形分布见图 1。

隽水河流域作为鄂东南地区的典型代表,属北亚热带季风气候区,光照适中,气候温和,雨量充沛,四季分明,雨热同期,由于受季风和地貌的影响,水资源时空分布不均,春季低温阴雨,夏季洪涝干旱,灾害性天气时有发生。目前,流域主要土地利用类型为林地占 65%、耕地占 26%、居住用地占 5%、水域占 3%、草地占 1%。

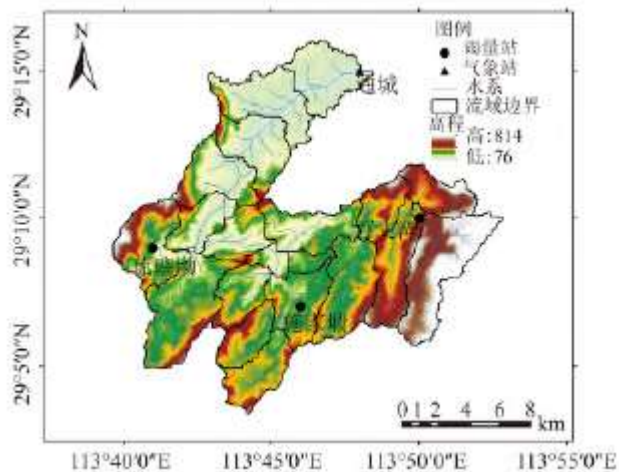


图 1 隽水河流域水系及地形分布示意图

1.2 数据来源

本研究收集的数据与资料主要包括属性数据(气象、径流等)与空间数据(DEM、土地利用和土壤数据)两大类,详细信息见表 1。其中,流域的降水数据来源于通城 1 个气象站和 3 个雨量站(百丈潭、施家墩、琉璃坳)的逐日降雨量;流量数据来源于流域出口断面的水文站通城(二)站的逐日流量。

表 1 本研究所用到的数据类型、来源、长度信息表

数据类型	数据描述	数据来源	数据长度(年)
------	------	------	---------

降水数据	日降雨量	气象站：通城气象站 水文站：通城(二) 雨量站：百丈潭、施家墩、琉璃坳	1973~2018
径流数据	日流量	水文站：通城(二)	1973~2018
DEM	1:5万	/	2000
遥感影像	2.5m	GF-1、GF-2	2018
	30m	Landsat	1987
土地利用数据	/	遥感影像	1987、2018
土壤数据	1km	HWSO 世界土壤数据库	/

本研究所使用的土地利用数据是根据遥感影像解译而得。根据野外调查勾绘的图斑数据，确定影像与实地的对应关系，建立典型地物的判读标志。对解译结果抽取不少于总图斑数的 5%~10%进行核查，抽取样本进行实地验证。解译结果地类解译精度控制在 90%以上，几何精度(面积或长度)控制在 90%以上。

1.3 土地利用变化规律及特征

本研究用土地利用数据是通过 1987 和 2018 年遥感影像解译所得，并结合 SWAT 模型对土地利用数据的要求，将流域的土地利用数据重分类为林地、耕地、居住用地、水域和草地共 5 大类，其空间分布如图 2 所示。从两期土地利用类型的变化中可见(见表 2)，该流域居住用地增加了 1.12%，草地增加了 0.07%；耕地、林地和水域分别减少了 0.99%、0.18%和 0.01%。对于隽水河流域而言，2018 与 1987 年相比，土地利用变化的幅度较小，所有类型的变化均在 2%以内。

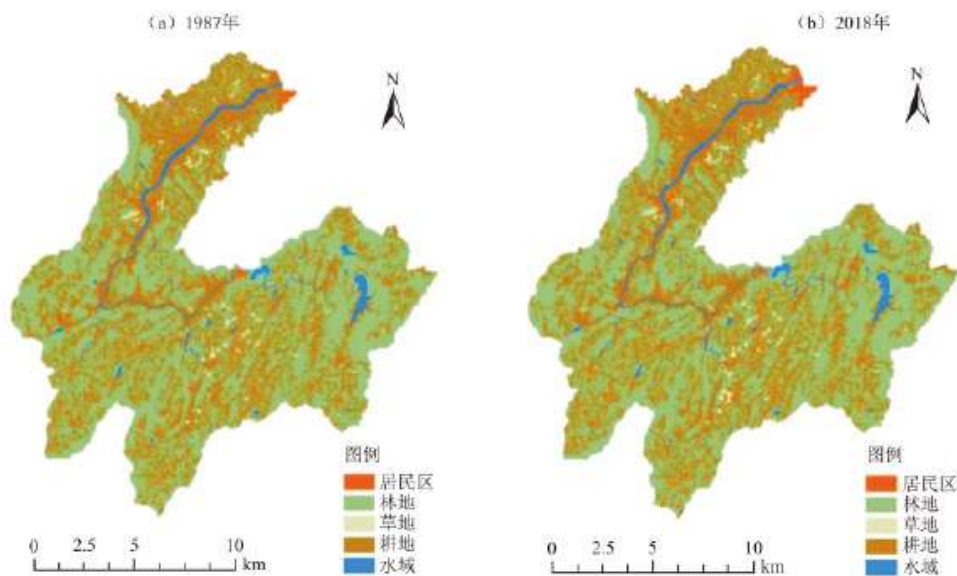


图 2 隽水河流域土地利用类型空间分布情况

表 2 隽水河流域 1987~2018 年土地利用类型空间变化情况

年度	耕地	林地	草地	水域	城镇和农村 居住用地
1987	61.70	146.58	2.21	6.12	8.46
2018	59.47	146.17	2.36	6.10	10.98
变化率	-0.99%	-0.18%	0.07%	-0.01%	1.12%

2 SWAT 模型的构建及适用性分析

2.1 SWAT 模型的实用性

分布式水文模型综合考虑了流域气候和下垫面的空间异质性，与集总式水文模型相比能更准确地模拟流域水文过程及不同响应因子对流域水文循环过程的影响。目前应用较广的分布式水文模型主要有 VIC 模型、MIKE-SHE 模型、TOPMODEL 模型、SWAT(Soil and Water Assessment Tool)模型等，其中 SWAT 模型由于其代码开放、功能强大、在很多流域的模拟效果令人满意等特点，在全世界范围内得到了广泛运用^[8,9]。SWAT 模型是美国农业部农业研究所开发设计的分布式水文模型，从 2000 年起陆续在我国得到应用，在国内 7 大水系模拟中都有良好的表现^[10,11]。李建庆等^[12]利用 SWAT 模型研究了北江流域土地利用/覆盖变化对水文过程的影响，结果表明 SWAT 模型在该流域模拟精度可靠。秦文静等^[13]利用 SWAT 模型模拟了土地利用和气候变化及两者共同作用对三峡库区内典型小流域径流的影响，结果表明 SWAT 模型模拟值与实测值拟合良好，模型适用于该流域。

2.2 SWAT 模型的构建^[14,15,16]

(1) 模型的基本原理

SWAT 模型主要包括 3 个子模型，分别是水文过程子模型、土壤侵蚀子模型、污染负荷子模型。其中，水文过程子模型是模型中最基础的子模型，本研究只涉及水文过程，故仅对模型中的水文过程作简要介绍。

SWAT 模型基于水量平衡原理，以 DEM 提取出流域的地形参数为基础，将研究区离散化，通过调整流域集水面积阈值，划分出若干个子流域。通过叠加土地利用、土壤数据，生成流域内最小的水文响应单元(HRU)。SWAT 模型先预测出 HRU 的径流量，然后通过演算得到流域的总径流量。

SWAT 模型内置的水量平衡方程式如下：

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

式中： SW_t 是第 i 天的土壤最终含水量(mm)； SW_0 是第 i 天的土壤前期含水量(mm)； t 是时间(d)； R_{day} 是第 i 天的降水量(mm)； Q_{surf} 是第 i 天的地表径流量(mm)； E_a 是第 i 天的蒸散发量(mm)； W_{seep} 是第 i 天存在于土壤剖面底层的渗透量和侧流量(mm)； Q_{gw} 是第 i 天

的地下水含量(mm)。

(2) 模型的参数率定

本研究使用 SWAT-CUP 程序进行参数敏感性分析和校准工作，选用 SUFI-2 算法进行敏感参数的率定和验证。

(3) 模型的目标函数

SWAT-CUP 中目标函数共有 9 种类型，本文选取国内外研究常用的确定性系数 (E_{ns}) 和决定系数 (R^2) 作为模型优选的目标函数，其计算公式为：

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{0,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{0,i} - \bar{Q}_0)^2} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_{0,i} - \bar{Q}_0) (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{0,i} - \bar{Q}_0)^2 \sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2} \quad (3)$$

式中： Q_0 为实测值； \bar{Q}_0 表示实测序列的平均值； Q_s 为模拟值； \bar{Q}_s 表示模拟的平均值； n 为实测时间序列长度。 E_{ns} 与 R^2 越接近 1，表明模拟值越接近实测值，模拟效果越好。

(4) 模型的精度评定

根据《水文情报预报规范(GB/T22482-2008)》，本研究对场次洪水的精度评定采用合格率和确定性系数 E_{ns} 两个评价指标。

2.3 SWAT 模型的适用性

为了降低初始条件对模拟结果的影响，本研究在模拟过程中将 1973~1977 年作为预热期，1978~1997 年作为率定期，1999~2018 年作为验证期。

采用 SWAT-CUP 中的 SUFI-2 算法进行模型参数率定和敏感性分析，最终得到 13 个较为敏感的参数，参数取值如表 3 所示。

表 3 影响径流的敏感性参数及其取值

参数名	含义	最适值	最优参数范围	
			最小值	最大值
R_CN2.mgt	土壤湿度 II 下 SCS 径流曲线系数	-0.05	-0.15	0.09

R_GWQMN.gw	基流水位阈值	96.30	0.00	583.63
V_REVAPMN.gw	再蒸发水位阈值	908.73	822.85	969.65
R_SOL_AWC(1).sol	第一土壤层有效含水量	-0.03	-0.13	0.09
R_SOL_K(1).sol	第一土壤层饱和水力传导率	-0.39	-0.39	0.00
V_SOL_Z(1).sol	第一土壤层深度	272.94	204.90	402.10
R_SOL_AWC(2).sol	第二土壤层有效含水量	0.36	-0.01	0.37
R_SOL_K(2).sol	第二土壤层饱和水力传导率	-0.21	-0.28	0.04
V_SOL_Z(2).sol	第二土壤层深度	738.28	526.70	1510.80
V_ALPHA_BF.gw	基流 α 系数	1.18	0.43	1.30
V_ESCO.hru	土壤蒸发补偿系数	0.15	0.00	0.62
V_CH_N2.rte	河道曼宁系数	0.04	0.00	0.18
V_CH_K2.rte	河道有效水力传导系数	309.16	143.07	431.93

注：R 表示 $(1+\text{变化值}) \times \text{初始值}$ ，V 表示直接赋予参数某个值。

率定期和验证期各选取 6 场洪水进行模拟，模拟结果如表 4、表 5 和图 3、图 4 所示。洪水模拟结果显示，率定期和验证期洪峰合格率均为 83.33%；率定期和验证期场次洪水确定性系数均大于 0.8，决定系数 R^2 均大于 0.9。根据《水文情报预报规范 (GB/T22482-2008)》，本研究洪水过程的模拟精度均达到乙级标准，表明 SWAT 模型在该流域的适用性较好。

表 4 场次洪水过程模拟结果表

洪水场次		洪峰流量相对误差	合格	确定性系数 E_{ms}	决定系数 R^2
率定期	1979-06-17	6.64%	是	0.63	0.92
	1983-07-04	11.72%	是	0.85	0.94
	1985-06-02	2.77%	是	0.87	0.97
	1988-09-07	36.90%	否	0.74	0.94
	1989-04-10	7.64%	是	0.98	0.94
	1993-07-01	10.91%	是	0.90	0.96
验证期	2007-05-30	53.98%	否	0.58	0.92
	2011-06-08	5.9%	是	0.98	0.99
	2012-04-27	6.62%	是	0.84	0.92

	2014-07-01	19.9%	是	0.79	0.94
	2016-04-18	6.3%	是	0.87	0.97
	2017-08-10	2.77%	是	0.96	0.997

表 5 场次洪水过程模拟精度评价表

项目	洪峰合格率	精度等级	确定性系数	精度等级
率定期	83.33%	乙	0.83	乙
验证期	83.33%	乙	0.84	乙

3 结果与分析

3.1 极端土地利用情景分析

土地利用及其结构的变化可以改变地表蒸发、植被截留、土壤水分入渗等水文过程，从而影响场次洪水的总量和分布，是除气象因子外，影响流域洪水过程最为重要的因素。分析土地利用变化对洪水过程的影响，有助于识别不同土地利用类型的水文响应特征，从而为区域水旱灾害防御、土地资源管理、国土空间规划以及经济社会发展布局提供一定的借鉴和参考。由 1.3 节分析可知，隽水河流域面积较小、土地利用类型相对单一，且 2018 与 1987 年相比，土地利用类型的变化均在 2% 以内，较难通过实测值完成定量分析。因此，本研究基于 SWAT 模型，采用极端土地利用情景分析法。该方法是将流域内的一种或几种土地利用类型全部转换为某一种土地利用类型的极端方式，这样不但可以清晰的展示和对比不同土地利用类型对洪水过程的影响大小和方向，而且更有利于结果的呈现与放大。本研究基于 2018 年的土地利用现状，设置了如下 4 种极端土地利用情景：

情景 1-林地情景：保留流域内的水域，将其他土地利用类型全部设置为林地。

情景 2-居住用地情景：保留流域内的水域，将其他土地利用类型全部设置为居住用地。

情景 3-草地情景：保留流域内的水域，将其他土地利用类型全部设置为草地。

情景 4-耕地情景：保留流域内的水域，将其他土地利用类型全部设置为耕地。

3.2 模拟结果及分析

(1) 土地利用类型的变化对场次洪峰和洪量的影响

将上述 4 种土地利用情景分别代入校正后的 SWAT 模型，得到 4 种极端土地利用情景下洪水过程模拟结果如图 5 所示，不同情景下场次洪水的洪峰流量和洪量的变化见表 6、表 7。

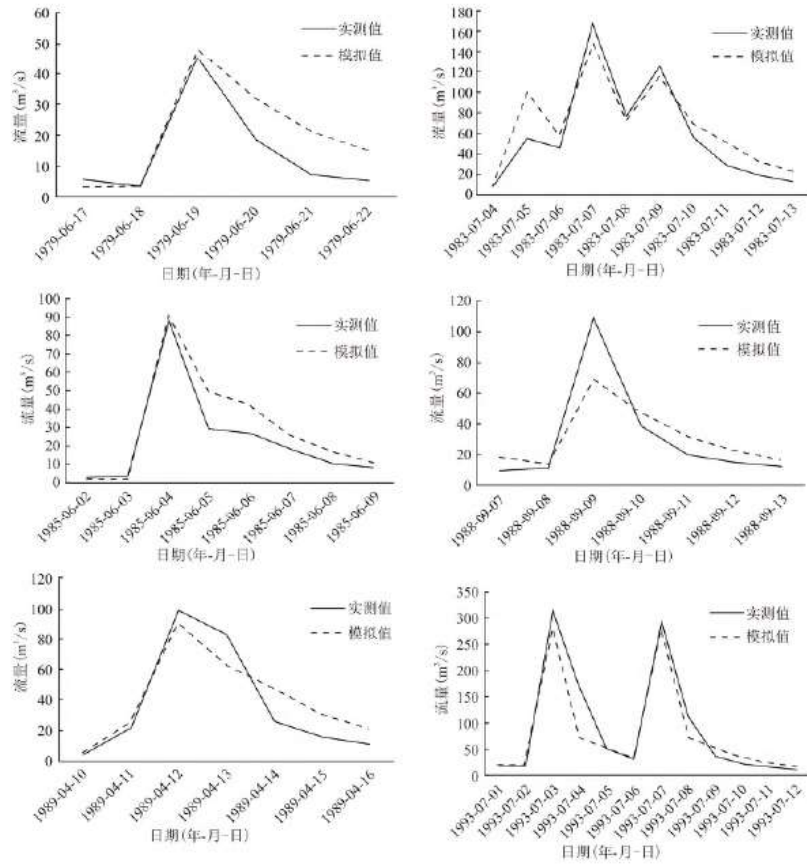


图 3 率定期场次洪水模拟结果图

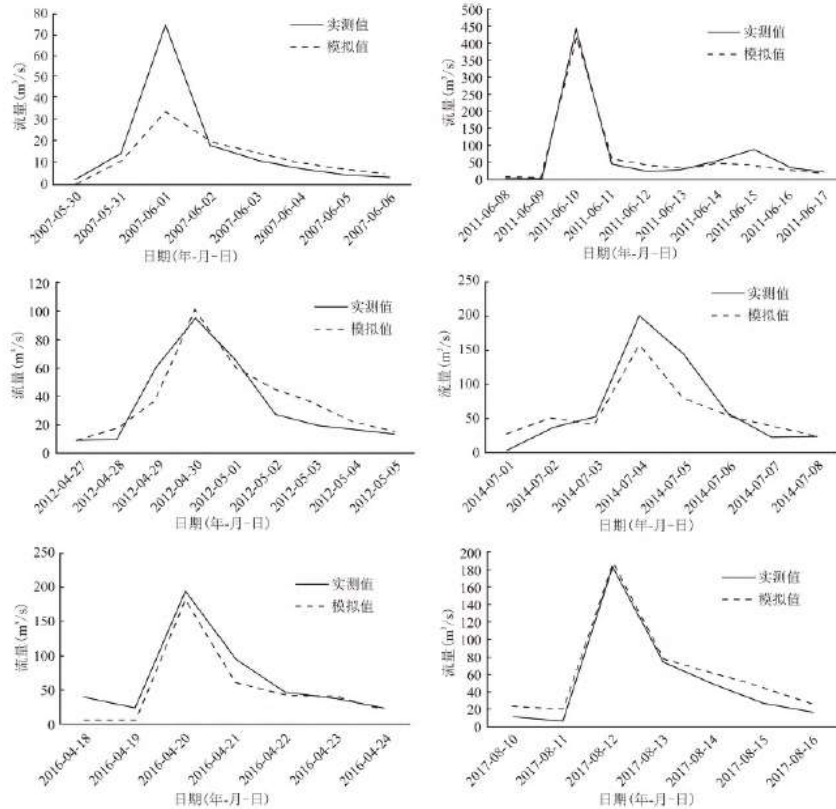


图4 验证期场次洪水过程模拟结果图

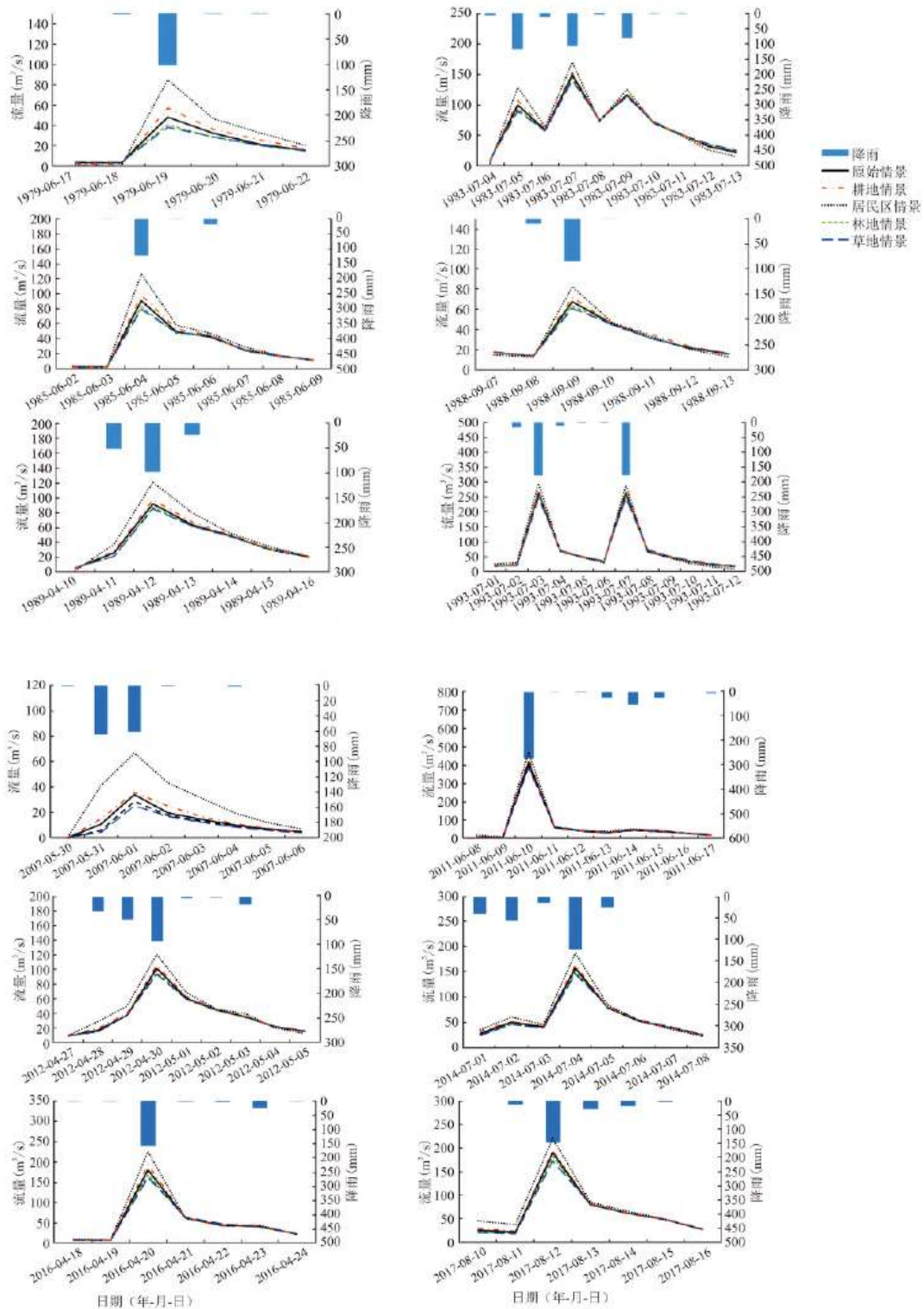


图5 不同土地利用情景下洪水模拟过程

表6 不同土地利用情景下洪峰流量变化表

洪水场次	原始情景 洪峰流量 (m ³ /s)	林地情景		居住用地情景		草地情景		耕地情景	
		洪峰流量 (m ³ /s)	变化率	洪峰流量 (m ³ /s)	变化率	洪峰流量 (m ³ /s)	变化率	洪峰流量 (m ³ /s)	变化率
1979-06-17	47.99	40.56	-15.48%	84.57	76.22%	38.13	-20.55%	56.87	18.50%
1983-07-04	149.2	143.9	-3.55%	169.1	13.34%	140.1	-6.10%	152.8	2.41%
1985-06-02	90.03	82.47	-8.40%	126.3	40.29%	78.68	-12.61%	97.39	8.18%
1988-09-07	67.52	63.47	-6.00%	82.44	22.10%	60.76	-10.01%	71.77	6.29%
1989-04-10	92.27	87.13	-5.57%	121.4	31.57%	85.04	-7.84%	97.83	6.03%
1993-07-01	263.7	254.9	-3.34%	295.4	12.02%	246.5	-6.52%	269.8	2.31%
2007-05-30	34.38	29.19	-15.10%	67.31	95.78%	25.56	-25.65%	36.32	5.64%
2011-06-08	419.7	402.5	-4.10%	474.3	13.01%	389.2	-7.27%	437	4.12%
2012-04-27	101.4	95.1	-6.21%	120.4	18.74%	93.21	-8.08%	105.4	3.94%
2014-07-01	157.8	151	-4.31%	186.8	18.38%	145.6	-7.73%	163.2	3.42%
2016-04-18	179.9	167.9	-6.67%	224.1	24.57%	161.1	-10.45%	193.2	7.39%
2017-08-10	189.1	181	-4.28%	219.4	16.02%	172	-9.04%	193.5	2.33%
平均变化率		/	-6.92%	/	31.84%	/	-10.99%	/	5.88%

表 7 不同土地利用情景下洪量变化表

洪水场次	原始情景	林地情景	居住用地情景	草地情景	耕地情景
------	------	------	--------	------	------

	洪量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	洪量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	变化率	洪量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	变化率	洪量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	变化率	洪量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	变化率
1979-06-17	10.63	9.62	-9.54%	15.99	50.36%	9.45	-11.09%	12.15	14.29%
1983-07-04	58.91	58.02	-1.52%	62.67	6.38%	57.88	-1.74%	60.06	1.95%
1985-06-02	20.63	19.82	-3.92%	25.37	22.95%	19.78	-4.14%	21.79	5.63%
1988-09-07	18.49	18.14	-1.90%	19.27	4.23%	17.92	-3.07%	19.28	4.29%
1989-04-10	24.88	23.88	-4.04%	30.16	21.20%	23.97	-3.66%	26.14	5.04%
1993-07-01	77.34	76.54	-1.03%	81.24	5.05%	76.42	-1.18%	78.69	1.75%
2007-05-30	8.89	7.63	-14.14%	19.34	117.50%	6.90	-22.43%	10.26	15.42%
2011-06-08	62.54	60.81	-2.76%	70.53	12.78%	60.45	-3.34%	64.90	3.77%
2012-04-27	29.61	28.85	-2.57%	34.30	15.81%	29.01	-2.05%	30.84	4.14%
2014-07-01	40.52	39.46	-2.63%	45.16	11.45%	39.29	-3.04%	41.86	3.30%
2016-04-18	30.72	29.68	-3.41%	35.27	14.78%	29.67	-3.43%	32.27	5.02%
2017-08-10	38.43	37.19	-3.23%	44.87	16.76%	36.53	-4.93%	39.69	3.28%
平均变化率	/	/	-4.22%	/	24.94%	/	-5.34%	/	5.66%

从中可见，林地情景下，12场洪水的洪峰流量和洪量均变小，洪峰流量平均变化率为-6.92%，洪量平均变化率为-4.22%；居住用地情景下，洪峰流量和洪量均变大，洪峰流量平均变化率为31.84%，洪量平均变化率为24.94%；草地情景下洪峰流量和洪量均变小，洪峰流量平均变化率为-10.99%，洪量平均变化率为-5.34%；耕地情景下洪峰流量和洪量均变大，洪峰流量平均变化率为5.88%，洪量平均变化率为5.66%。对比不同的土地利用情景可以看出，居住用地和耕地情景对洪峰和洪量均有增加的作用，其中，居住用地的增加更为显著；林地和草地情景对洪峰和洪量均有削减作用，其中，草地的削减更为显著。

居住用地和耕地导致洪峰、洪量增加的原因主要是由于不透水面积的增加、土地平整等，降低了地表的粗糙程度，减少了降

雨的初损和稳损，进而增加了洪峰流量和洪水总量；而林地、草地对洪峰、洪量具有削减作用主要是因为相比其他土地利用类型，林地和草地增加了地表的粗糙程度，具有较好的涵养水源功能，增加了降雨的初损和稳损，能够在一定程度上削减场次的洪峰流量和洪水总量。

由图 5 可以看出，同一场次洪水过程中，与原始土地利用模拟的洪水过程相比，居住用地情景下洪峰最大，耕地情景洪峰稍大于原始情景；林地和草地情景下洪峰小于原始情景。5 种情景下峰现时间一致，说明该流域峰现时间受土地利用变化影响较小。

对比不同等级的原始洪水过程(见图 6~图 7)可以发现，对于洪水总量较小的洪水，土地利用类型的改变对于削减(或增强)洪峰和洪量的影响幅度越大；而对于洪水总量较大的洪水，土地利用类型的改变对于削减(或增强)洪峰和洪量的影响幅度反而越小。

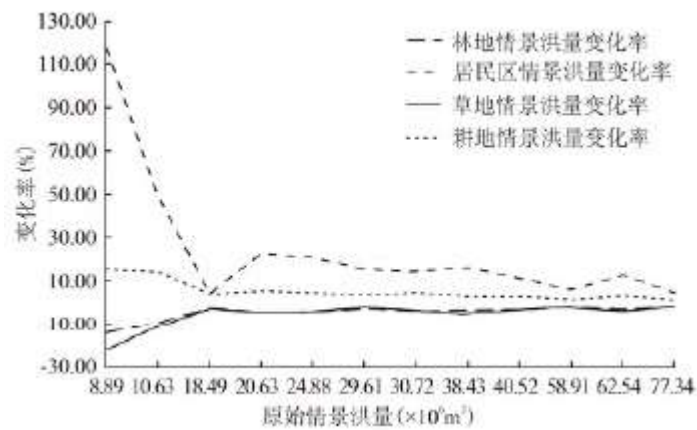


图 6 不同等级洪水土地利用类型的改变对洪量变幅的对比

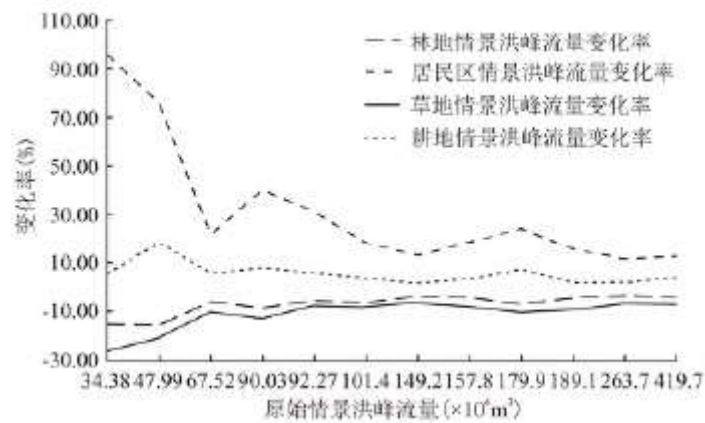


图 7 不同等级洪水土地利用类型的改变对洪峰流量变幅的对比

4 结论及建议

4.1 结论

隽水河流域地处鄂东南地区，是全省的暴雨中心之一，是洪涝灾害频发和多发的地区。特别是上世纪 90 年代末以来，极端洪涝灾害发生的量值和频次都有增大和增多的趋势。而影响场次洪水极值大小的因素一是时段降雨量等气象因素，另一个就是流域下垫面土地利用类型的改变。土地利用及其结构的变化可以改变地表蒸发、植被截留、土壤水分入渗等水文过程，从而影响场次洪水的总量和分布。为了探讨土地利用变化对洪水过程的影响，本研究基于 SWAT 模型，采用极端土地利用情景分析法，分别计算了林地、居住用地、草地、耕地 4 种土地利用类型对场次洪水过程的影响。主要结论如下：(1) SWAT 模型的适用性：通城(二)水文站验证的结果为洪峰合格率达 83.33%，确定性系数 E_{ns} 大于 0.80，决定性系数 R^2 大于 0.9，模拟结果表明 SWAT 模型在隽水河流域洪水过程模拟中具有较好的适用性。(2) 土地利用类型的改变对洪水过程的影响。①对洪峰的影响：耕地或居住用地的增加会使洪峰变大，其中，居住用地的影响更为显著；林地或草地的增加可以削减洪峰，其中，草地的影响相对更大。②对洪量的影响：增加耕地或居住用地会使洪量增加，增加林地或草地会使洪量减小。③影响幅度的大小：同等条件下，土地利用类型的改变对中小洪水过程的影响更为显著，而对较大洪水过程的影响则相对较弱。④对峰现时间的影响：土地利用类型的改变对类似隽水河流域汇流时间较短的山丘区中小流域峰现时间的影响不大。

4.2 建议

地处全省暴雨中心的隽水河流域长期面临洪涝灾害频发、旱涝灾害急转、经济发展落后等困境。本次土地利用变化对洪水过程的影响分析表明，增加林地或草地面积可以起到减小洪量、削减洪峰的作用。这对于指导隽水河流域乃至整个鄂东南幕阜山区实现洪水资源化，提高水源涵养能力具有重要的指导意义。森林能够截留雨水，林内枯落物可以蓄水，林内土壤孔隙多，草地又能增加地表的粗糙程度，这些都可以起到增加截留、填洼和下渗等初损和稳损作用，具有涵养水源、阻滞地表径流、减轻洪涝灾害等功能。因此，建议当地政府部门出台保护林草地的相关政策，通过增加林地或草地面积来提升隽水河流域乃至整个鄂东南幕阜山区均衡水量分配、抵御水旱灾害、防治水土流失的能力。

参考文献:

- [1] 林沛榕, 翟丽妮, 马丽梅, 等. 水文序列趋势性分析方法在湖北幕阜山区的应用[J]. 水利水电快报, 2020, 41(4):16-19.
- [2] ZHI L, LIU W Z, ZHANG X C, et al. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the loess plateau of china[J]. Journal of Hydrology, 2009, 1-2(377):35-42.
- [3] ALI M, KHAN S J, ASLAM I, et al. Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan[J]. Pakistan. Landscape & Urban Planning, 2011, 4(102):271-279.
- [4] 熊飞勇. 基于 SWAT 模型的赣江蜀水流域气候\土地利用变化情景下的径流响应研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015.
- [5] 陈莹, 许有鹏, 尹义星. 基于土地利用/覆被情景分析的长期水文效应研究——以西苕河流域为例[J]. 自然资源学报, 2011(2):351-359.
- [6] 郝振纯, 苏振宽. 土地利用变化对海河流域典型区域的径流影响[J]. 水科学进展, 2015, 26(4):491-499.
- [7] 莫桂燕. 气候与土地利用变化下的龙滩流域径流响应研究[D]. 南宁: 广西大学, 2018.
- [8] 张丽. SWAT 模型参数优化与土地利用变化的径流效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [9] 金鑫, 金彦香, 杨登兴. SWAT 模型在土地利用/覆被变化剧烈地区的改进与应用[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(8):1064-

1073.

- [10] 荣易, 秦成新, 孙傅, 等. SWAT 模型在我国流域水环境模拟应用中的评估验证过程评价[J]. 环境科学研究, 2020, 33(11):2571-2580.
- [11] 鄂刚. 基于 SWAT 模型土地利用多情景变换下的径流模拟[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- [12] 李建庆, 罗显刚, 朱双, 等. 北江流域土地利用/覆盖变化对水文过程影响研究[J]. 人民长江, 2020, 51(8):89-94.
- [13] 秦文静, 王云琦, 王彬, 等. 土地利用和气候变化对王家桥小流域径流的影响[J]. 水文, 2019, 39(2):49-54.
- [14] 汤岭, 于莎莎, 喻妮厚, 等. 湘江流域 SWAT 模型参数敏感性分析及土地利用变化情况下的径流模拟[J]. 水力发电, 2021, 47(6):12-17.
- [15] 马新萍, 武涛, 余玉洋, 等. 基于 SWAT 模型的汉江上游流域径流情景预测研究[J]. 国土资源遥感, 2021, 33(1):174-181.
- [16] 吴安琪, 石朋, 陆美霞, 等. 气候变化对淮河径流及洪峰流量的影响[J]. 三峡大学学报(自然科学版)2021, 43(1):13-17.